

Development of a Sensor-Based LED Lighting System with Low Standby Power

김진근* · 강문성†
(Jin-Geun Kim · Moon-Sung Kang)

Abstract - In this paper, we propose a sensor-based LED lighting system that can significantly reduce standby powers. The proposed LED lighting system has the more advanced power circuit and control mechanism compared to existing one. The whole power circuit consists of two subcircuits. One is designed to apply electric powers to controller, PIR(Pyroelectric Infrared Ray) sensor and CdS, and the other one is designed to apply electric powers to LED module. Such a power circuit configuration makes the standby powers reduction of LED lighting system possible. From the experimental results, we confirmed that the standby powers saving performance of the developed power circuit is superior to that of the conventional one.

Key Words : CdS, LED lighting system, PIR sensor, Power circuit, Standby power

1. 서 론

대기전력(Standby Power)은 그 주기능을 수행하지 않거나 내부 혹은 외부로 부터 주기능 수행을 위한 명령을 기다리고 있는 상태에서 소비하는 전력을 의미하며[1], 근래에 들어 효율적인 전기 에너지 사용의 일환으로서 대기전력 절감의 필요성에 대한 사회적 요구가 점차 증대되고 있다. 이러한 배경에 따라 국내외적으로 전기 전자 기기들의 대기전력 사용 현황에 관한 다양한 조사 결과들이 보고되고 있다[2][3]. 또한 가전 기기의 대표적인 전원 공급장치인 SMPS(Switched Mode Power Supply)용 컨버터의 대기모드 시 효율 극대화에 의한 대기전력 최소화 기법등의 연구들이 이루어 지고 있다[4][5].

국제에너지기구(IEA)의 발표자료에 의하면 OECD 회원국의 평균 전력사용량의 10%~15%가 대기전력으로 소모되고 있으며, 우리나라와 가까운 일본의 경우에도 연간 전력 소비량의 약 12%에 가까운 전기 에너지가 대기전력으로 소모되고 있는 것으로 조사되어 있다[2].

한편 우리나라는 가구당 가전 기기의 평균 전력사용량의 10%이상을 대기전력으로 소모하며, 가전 기기의 사용 증대에 따라 대기전력의 증가율도 년 5.8%이상인 것으로 보고되고 있다[3]. 대기전력이 문제점으로 대두되면서 모든 전기 전자 제품의 대기전력을 1[W]이하로 줄이도록 국제에너지기구가 앞장서 OECD 회원국들에게 권고하고 있다[2].

이에 우리 정부도 2010년부터 대기전력으로 낭비되는 전

기 에너지를 줄이기 위해 전자 제품의 대기전력을 1[W]이하로 규제하는 정책을 시행하고 있으며, 점진적으로 적용 제품의 확대와 대기전력을 0.5[W], 0.3[W]로 낮추는 프로그램을 준비하고 있다. 이에 따라 여러 가전 제품 생산 업체에서도 대기전력 1[W]이하인 제품을 생산 보급하고 있다.

아파트의 복도, 사무실의 출입문, 일반 주택의 현관등에서 쉽게 볼 수 있는 센서등은 인체의 열을 감지할 수 있는 적외선 센서를 사용하여 인간의 몸체에서 나오는 9.4[m]과장대의 적외선을 검출하였을 때 점등되고 그 이외의 시간에는 소등이 된 상태에서 인체의 열이 감지될 때까지 대기하는 조명장치이다. 이 조명장치의 내부는 적외선 센서와 주변의 빛의 양을 감지할 수 있는 조도 센서(CdS)로 구성되어 있어 설정한 빛의 양보다 현재 빛의 양이 많으면 동작하지 않는다. 이러한 조명장치의 특성으로 인해 하루 24시간중 태양 빛이 비치는 시간을 제외하고 인체가 감지되었을 때만 점등되어 있는 시간이 총 1시간이내로 대기전력을 많이 소비하는 조명장치중의 하나로 알려져 있다. 기존의 백열등 또는 LED를 광원으로 사용한 기존 센서등의 대기전력이 약 0.4~0.8[W]인데, 역률이 좋지 않아 무효전력이 증가함으로 인하여 전력 공급자측에서는 발전량의 감소를 기대할 수가 없는 상황이다[6].

이에 본 논문에서는 대기전력을 획기적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 역률 특성도 우수한 전원 회로와 제어 방식을 설계 및 구현하고, 비교 실험을 통하여 그 우수성을 확인하고자 하였다.

2. LED 센서 조명시스템의 구조

2.1 기존 시스템

기존의 센서 조명장치는 일반적으로 그림 1에서 보는 바

* 정 회원 : (주)지투엘 대표

† 교신저자, 정회원 : 청주대학교 전자공학과 교수

E-mail : kanms@cju.ac.kr

접수일자 : 2012년 1월 11일

최종완료 : 2012년 2월 22일

와 같이 SMPS 방식을 사용하여 램프에 전력을 공급한다 [7]. 이 SMPS 방식은 교류 입력 전원을 전파 정류하여 얻은 맥류를 커패시터에 의해 평활하여 직류 전원으로 변환하고, PWM(Pulse Width Modulation) IC를 사용하여 고주파 교류 전원으로 재변환한다. 이후 고주파 변압기를 이용하여 강압하고 2차측에서 다시 직류 전원으로 재변환하여 센서, 램프등에 필요한 전력을 공급한다. 그런데 이러한 방식의 전원회로는 2차측에 필요한 전력을 생성하기 위해 PWM IC를 사용하고, 또한 변압기 2차측의 출력 전압을 안정화하기 위해 출력 전압을 케환시켜 PWM IC를 통해 변압기 1차측 전압을 제어하기 때문에 2차측 제어소자를 필요로 한다. 이들 PWM IC와 2차측의 제어소자들로 인해 부하가 없을 때에도 상시 전력 공급이 이루어져야 하므로 대기전력이 발생하게 된다. 따라서 무부하시에는 대기전력을 저감시킬 수 있는 전력 공급 방식이 필요하다.

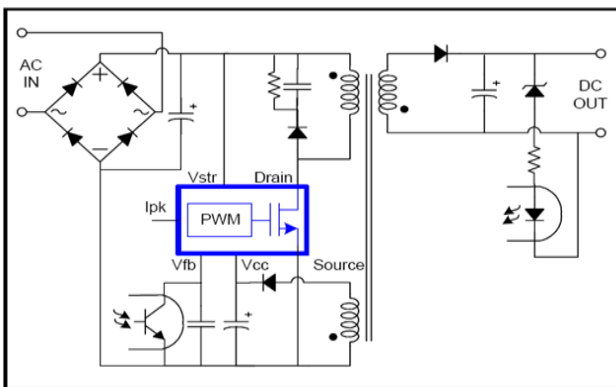


그림 1 SMPS 방식의 전력 공급 회로
Fig. 1 Electric power circuit using SMPS

2.2 개발한 시스템

본 논문에서 개발한 LED 센서 조명시스템은 인체가 감지되지 않은 대기상태에서는 SMPS 회로가 동작하지 않도록 하여 근본적으로 전력을 차단할 뿐만 아니라 센서부와 제어부에서 소비되는 전력을 최소화 하여 대기전력을 절감할 수 있는 구조를 갖고 있다. 그림 2에 개발한 LED 센서 조명시스템의 전체 구성을 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 센서부 및 제어부에 전력을 공급하는 제1 전원공급부와 LED 모듈에 전력을 공급하는 제2 전원공급부로 분리하여 설계함으로써 대기전력 절감을 가능하게 하였다.

즉, 제1 전원공급부에서는 LED 모듈이 점등되지 않고 대기상태에 있을 때 제어부와 센서부에 전원을 상시 공급한다. 제어부에서는 적외선 센서가 인체를 감지하면, 조도 센서에 의해 측정된 주변의 조도를 근거로 밝음으로 판별되면 인체가 감지되었음에도 불구하고 LED 모듈을 점등하지 않고 대기상태를 유지하게 하고, 어둠으로 판별되면 스위칭부에 스위치 도통 제어신호를 인가하여 제2 전원공급부에 교류 220[V]를 입력하게 된다. 이에 따라 제2 전원공급부에서 LED 모듈에 전원을 공급하여 점등하게 된다. 그리고 일

정시간 경과후 스위치 차단 동작에 의해 제2 전원공급부의 전원이 차단된다.

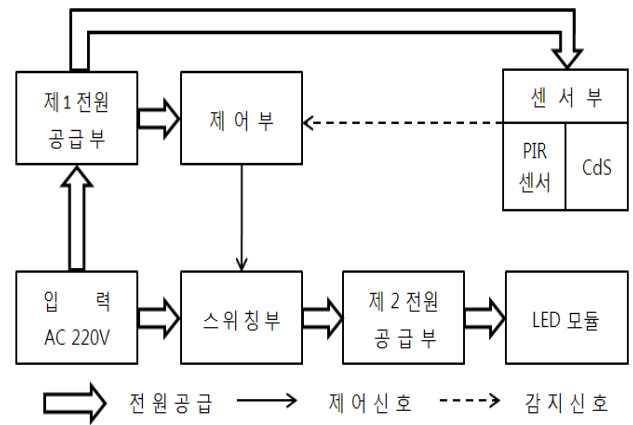


그림 2 개발한 LED 센서 조명시스템의 구성도
Fig. 2 Configuration of a developed LED lighting system

제1 전원공급부는 220/12[V] 정격의 저주파 변압기와 정류회로로 구성되고, 5[V] 직류 전원을 출력하여 센서부와 제어부에 공급하며, LED 모듈이 켜지지 않은 대기상태에서도 전력을 소비하지만 극히 미량의 대기전력을 발생시킬 뿐이다.

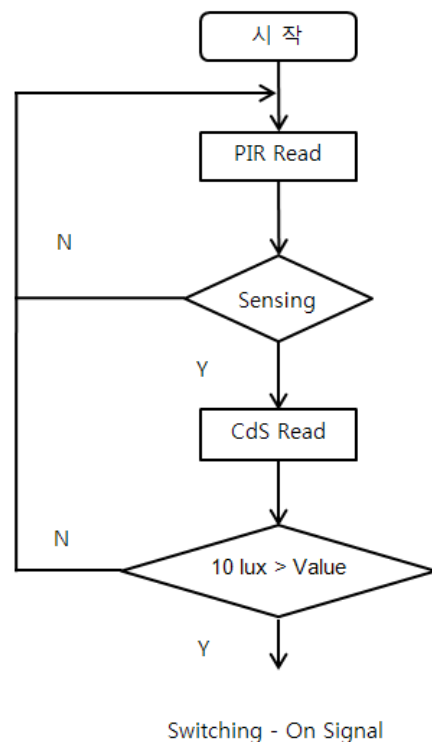


그림 3 스위치 도통 신호 발생 흐름도
Fig. 3 Switching-on signal flow diagram

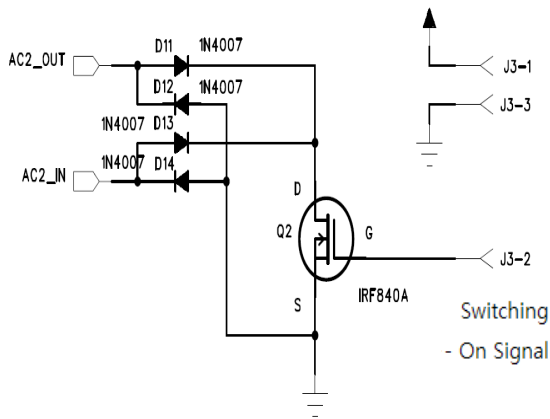


그림 4 스위칭부 회로도
Fig. 4 Configuration of switching circuit

센서부는 인체의 열을 감지하는 PIR 센서인 LHi878 적외선 센서와 가시광선의 양을 감지하는 조도 센서로 구성되며, 이 둘 센서로부터 출력되는 감지신호가 아날로그 전압의 형태로 제어부에 전달된다. 제어부는 Microchip 社の PIC12F615를 사용하여 그림 3과 같은 알고리즘으로 스위치도통 신호를 발생시키며, LED 모듈의 점등시간은 사용자가 외부에서 설정할 수 있고, 설정한 시간만큼(15초~150초) 제어부에서 카운트한 후 LED 모듈을 소등한다. 여기서 조도 센서에 의해 측정되는 주위의 조도가 10[lux]보다 높으면 밝음으로, 10[lux]보다 낮으면 어두움으로 판별한다. 대기전력 절감을 위한 가장 핵심이 되는 스위칭부는 제어부로부터 인가되는 스위치 도통 신호에 의해 제2 전원공급부를 제어하여 LED 모듈에 전력을 공급한다. 스위칭부 회로를 그림 4에 보여준다. 제2 전원공급부는 SMPS 방식을 채용하며, 220[V] 교류 전원을 입력받아 48[V] 직류 전원을 출력할 수 있도록 PWM IC, 고주파 변압기 및 정류회로로 구성되어 있으며, 또한 역률 보정 회로를 구비하여 역률 저하를 방지하고자 하였다[8][9].

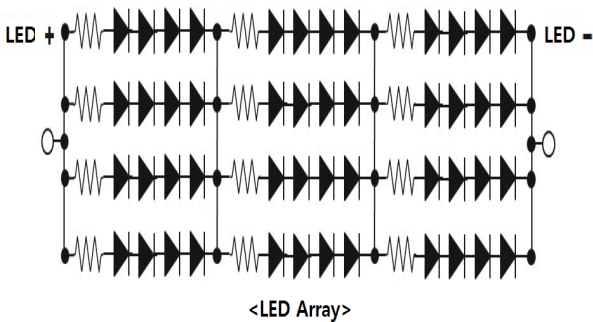


그림 5 LED 모듈의 배열 형태
Fig. 5 Array configuration of LED module

그리고 LED 모듈은 그림 5에서 보는 바와 같이 chip LED를 12×4 배열의 직병렬 회로로 구성되며, 48[V] 직류 전원이 입력으로 인가된다.

그림 6은 개발한 LED 센서 조명시스템의 구동회로의

PCB를 나타낸 것이다. B영역이 대기상태에서 동작하는 제1 전원공급부로서 센서부와 제어부를 위한 전력을 공급하고, 인체감지시 LED 모듈에 전력을 공급하는 제2 전원공급부는 A영역에 나타내었다. 또한 역률을 보정하기 위해 C영역에 역률 보정 회로를 삽입하였다.

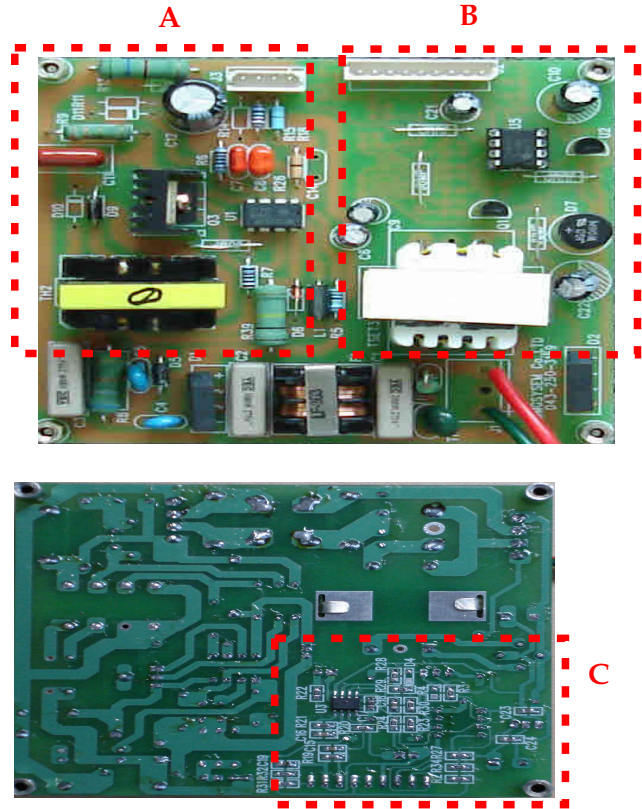


그림 6 개발한 LED 센서 조명시스템의 구동회로
Fig. 6 Driving circuit of a developed LED lighting system

3. 특성 비교 분석

3.1 성능 비교

표 1은 본 논문에서 개발한 LED 센서 조명등과 현재 개발되어 판매되고 있는 두 회사의 LED 센서 조명등 및 백열등과의 성능을 비교해 보여주고 있다. 각 제품의 대기전력은 A사, B사, 백열등 각각 0.36[W], 0.37[W], 0.42[W]로서 대기상태에서 비슷한 양의 전력을 소비하나, 본 논문에서 개발한 LED 센서 조명등은 0.068[W]로 기존 LED 센서 조명등 및 백열등의 16~19[%]에 지나지 않아 대기전력 저감효과가 약 5배 이상된다. 그리고 역률 특성을 살펴보면, 특히 대기상태에서 본 개발품은 기존 세가지 제품에 비해 월등히 우수함을 알 수 있다. 이에 따라 무효전력이 감소하게 되어 피상전력을 줄일 수 있는 효과를 볼 수 있어 전력 공급자 입장에서는 대단히 유리한 특성이 된다. 즉, 피상전력차원에서 대기전력은 본 개발품이 A사 및 B사 제품의 약 1.3[%], 그리고 백열등의 0.7[%]에 지나지 않는다.

그리고 개발품과 3가지 기존 제품의 조도를 측정하여 비

교하였다. 조도계와 센서 조명등은 직선거리로 65[cm]의 간격을 두었고, 센서 조명등의 커버 재질이 조도에 미치는 영향을 없애기 위해 커버를 모두 제거한 상태에서 측정하였다. 그 결과 개발품의 조도는 백열등의 약 2.5배에 이르며 나머지 LED 센서 조명등과는 거의 차이가 없음을 알 수 있었다.

표 1 성능 비교 결과

Table 1 Performance comparisons

구 분		개발품	A사 제품	B사 제품	백열등
점 등 상태	전압[V]	220	220	220	220
	전류[mA]	72.73	75.05	65.36	276.40
	피상전력[VA]	16.0	16.51	14.38	60.81
	역률	0.87	0.64	0.59	0.96
	유효전력[W]	14.04	10.61	8.52	59.03
조도[lux]		1,093	1,155	1,040	432
대 기 상태	전압[V]	220	220	220	220
	전류[mA]	0.51	39.10	39.20	67.30
	피상전력[VA]	0.11	8.60	8.62	14.81
	역률	0.60	0.04	0.042	0.027
유효전력[W]		0.068	0.36	0.37	0.42

3.2 전력저감 효과 비교

본 논문에서 개발한 LED 센서 조명시스템의 전력저감 효과를 확인하기 위하여 연간 순수 총대기전력량, 총소비전력량, 총피상전력량 및 전력요금을 산출하여 기존의 센서 조명등과 비교하였다. 여기서 대기시간은 1일 23시간, 점등시간은 1시간으로 가정하였으며, 전력요금을 산출하기 위해 2011년에 발행한 한전 전력통계 속보를 근거로 추정된 2010년 주택용 평균 전력 단가 119.8[원/kWh]를 적용하였다[10]. 그리고 전국의 주택 14,677,000호(2010년 통계청 자료)에 가구당 한 개의 센서 조명등을 설치하는 경우를 가정하였다.

표 2 대기전력량 비교

Table 2 Comparison of standby powers

구 분	개발품	A사 제품	B사 제품	백열등
연간 총대기전력량 [kWh]	0.56	2.98	3.06	3.48
14,677,000호에 1개 설치시 총대기전력량 [MWh]	8,219	43,737	44,912	51,076
연간 총전력요금[만원]	98,464	523,969	538,046	611,890

표 3 3년간 총소비전력량 비교

Table 3 Comparison of active power consumption

구 분	개발품	A사 제품	B사 제품	백열등
점 등 상태 [kWh]	5.05	3.82	3.07	21.25
대 기 상태 [kWh]	0.56	2.98	3.06	3.48
합 계 [kWh]	5.61	6.80	6.13	24.73
14,677,000호에 1개 설치시[MWh]	82,338	99,804	89,970	362,962
연간 총전력요금[만원]	986,409	1,195,652	1,077,841	4,348,285

표 2에는 제품별로 대기전력 저감 효과를 알아 보기 위해 순수 대기전력량 및 전력요금을 산출하여 나타내었다. 이 표로부터 본 개발품이 기존의 센서 감지형 백열등의 83.9[%]의 순수 대기전력 절감 및 전력요금 절감이 가능함을 알 수 있다. 이는 연간 약 42,857[MWh]의 대기전력량 및 약 513,426[만원]의 전력요금에 해당된다. 또한 A사 제품의 81.2[%], B사 제품의 81.7[%]의 대기전력 절감 및 전력요금 절감을 기대할 수 있다.

그리고 표 3에는 각 제품별로 점등상태 및 대기상태에서의 소비전력을 합한 연간 총소비전력량 및 연간 총전력요금을 계산하여 나타내었다.

본 논문에서 개발한 제품이 LED를 사용한 A사 제품의 약 17.5[%], B사 제품의 약 8.5[%], 백열등보다 약 77.3[%]의 연간 총소비전력량이 절약됨을 확인할 수 있다. 또한 표 3에서 볼 수 있는 바와 같이 본 개발품을 14,677,000호에 1개씩 설치하는 경우 백열등에 비해 연간 약 280,624[MWh]의 전력소비를 줄일 수 있으며, 이 전력량은 2010년도 연간 주택용 전력소비량 63,199,602[MWh]의 약 0.45[%]에 해당되는 것으로 상당한 에너지 절약 효과를 얻을 수 있다.

표 4 4년간 총피상전력량 비교

Table 4 Comparison of apparent power consumption

구 분	개발품	A사 제품	B사 제품	백열등
점 등 상태 [KVAh]	5.76	5.94	5.18	21.89
대 기 상태 [KVAh]	0.91	71.21	71.37	122.63
합 계 [KVAh]	6.67	77.15	76.55	144.52
14,677,000호에 1개 설치 시[MVAh]	97,896	1,132,331	1,123,524	2,121,120

표 4는 연간 총피상전력량을 기준으로 개발품과 타 3가지 제품을 비교하여 보았다. 피상전력량은 전력 공급자측에서 보면 연간 발전량에 해당된다. 개발품의 피상전력량은 A사 제품 및 B사 제품의 약 8.7[%], 백열등의 약 4.6[%]에

지나지 않는다. 이는 본 개발품을 14,677,000호에 1개씩 설치하는 경우 백열등에 비해 연간 약 2,023,224[MVAh]의 발전량을 줄일 수 있으며, 이 발전량은 2010년도 연간 총발전량 474,660[GWh]의 약 0.43[%]에 해당되는 것으로 에너지 절약 효과에 더불어 발전량 감소에 따라 지구환경 개선에도 도움이 되는 부수적인 효과도 얻을 수 있다. 또한 전력 공급자측에서도 전력계통 안정, 전력손실 감소 및 투자비 경감의 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다.

그리고 경제성을 평가하기 위하여 손익 분기점(break even point)을 산출하였다. 백열등과 수명이 10년으로 같다고 가정하면, 연간 전력요금 절감액은 3,361,876[만원]이므로 10년간 총전력요금 절감액은 33,618,760[만원]이 된다. 따라서 개발품의 가격이 기존의 센서 감지형 백열등보다 최대 약 23,000[원]까지 증가하더라도 경제성은 충분히 있는 것으로 생각된다. 그러나 이는 유효전력량(소비전력량)을 기준으로 하여 산출한 것이므로 피상전력량을 기준으로 하여 계산하면 손익 분기점은 더욱 올라갈 것이며, 또한 LED 센서 조명등의 수명이 센서 감지형 백열등보다 월등히 긴 것을 고려하면 경제성은 더욱 더 증가하게 된다. 더욱이 에너지 절약 효과외에 지구환경 개선 효과를 고려하면 LED 센서 조명등으로의 대체 효과는 더욱 커질 것이라 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 센서 감지형 백열등과 LED를 광원으로 사용한 기존 센서 조명등의 대기전력을 대폭 줄일 수 있는 대기전력 저감형 LED 센서 조명시스템을 개발하였다. 이를 위하여 새로운 구조의 전원 회로와 제어 방식을 설계하고 구현하였으며, 비교 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다.

기존 센서 조명등의 경우, 대기상태에서 전원회로부와 센서 및 제어부에서의 대기전력 소비가 크다는 문제점이 있다. 현재 제품화되어 판매중인 LED 센서 조명등에서도 SMPS 전원회로를 사용하기 때문에 대기전력으로 인한 경제적 손실이 야기된다. 이에 본 논문에서는 대기전력을 줄이기 위하여 LED 모듈에 공급하는 전원부와 센서 및 제어부에 인가하는 전원부를 분리하여 설계함으로써 센서 조명등이 대기상태에 있을 때에는 센서 및 제어부에만 전원이 공급되도록 하였다. 이러한 새로운 전원 회로 및 제어 방식을 개발하여 구현함으로써 기존의 센서 조명등에 비해 대기전력 및 전력요금을 대폭적으로 저감시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한 본 개발품은 역률 보상회로를 설계하여 구비함으로써 역률 특성을 개선할 수 있음에 따라 무효전력을 저감시켰다. 이에 따른 발전량 감소로 지구환경 개선에도 도움이 될 뿐만 아니라 전력 공급자측에서도 전력계통 안정, 전력손실 감소 및 투자비 경감의 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다. 그리고 본 논문에서 개발한 기술은 센서를 이용하는 다양한 제품에 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

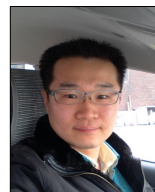
참 고 문 헌

[1] 에너지관리공단, "대기전력 1W 달성을 위한 국가 로드

맵", 2005

- [2] 김영래, "국제에너지 효율 및 대기전력 규제동향", 전력전자학회지, vol. 11, no. 4, pp. 17-21, 2006. 8.
- [3] 김남균, "국내가전기기의 대기전력 현황과 전망", 전력전자학회지, vol. 11, no. 4, pp. 22-25, 2006. 8.
- [4] 권혜성의 3인, "Active Clamped Flyback Converter에서 무부하시 전력소모 감소방안에 관한 연구", 전력전자학회 논문집, pp. 140-142, 2005.
- [5] 김봉철외 2인, "대기전력 최소화를 위한 새로운 제어기법", 전력전자학회 논문집, pp. 591-593, 2009.
- [6] 문식의 2인, "대기전력의 역률에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 784-785, 2010. 7.
- [7] 김진근, 홍성훈, 강문성, "기기 내장형 대기전력 저감장치의 개발", 2009 한국자동제어학술회의-ICROS 학술대회-, FP03-4, 2009. 9.
- [8] Hancock, J.M., "Simplifying Power Factor Correction in SMPS", POWER ELECTRONICS TECHNOLOGY, vol. 30, no. 10, pp. 26-41, 2004.
- [9] Hodge, S., "High Frequency PFC Design Considerations", POWER ELECTRONICS TECHNOLOGY EXHIBITION AND CONFERENCE PROCEEDINGS, PET 16-03, Oct. 2005.
- [10] 한국전력공사, "전력통계 속보", 제394호, 2011. 8

저 자 소 개



김진근 (金鎭根)

1976년 9월 6일생. 2004년 청주대 이공대 전자공학과 졸업. 2006년 청주대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2006년 청주대 대학원 전자공학과 박사 과정 입학. 2012년 현재 (주)지투엘 대표.

Tel : 043-263-3159

E-mail : gloomy0205@paran.com



강문성 (姜文盛)

1954년 12월 2일생. 1978년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 일본 교토대학 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1979년 12월-1991년 8월 한국전력공사 기술연구원 근무. 현재 청주대학교 이공대 전자공학과 교수

Tel : 043-229-8455

E-mail : kanms@cju.ac.kr